

TNO-rapport  
PML 1996-A97

## Bepaling van schadelijke componenten bij de controle van de luchtinlaat en -uitlaat van de motor van de F-16

TNO Prins Maurits Laboratorium

**DTIC QUALITY INSPECTED 2**

Lange Kleiweg 137  
Postbus 45  
2280 AA Rijswijk

Telefoon 015 284 28 42  
Fax 015 284 39 63

Datum  
februari 1997

Auteur(s)  
Ing. F.R. Groeneveld

19970403 030

Rubricering  
Vastgesteld door : Kol.-vliegerarts W.C.M. Tielemans  
Vastgesteld d.d. : 22 november 1996  
(deze rubricering wijzigt niet)

Titel : Ongerubriceerd  
Managementuitreksel : Ongerubriceerd  
Samenvatting : Ongerubriceerd  
Rapporttekst : Ongerubriceerd  
Bijlagen A - C : Ongerubriceerd

Alle rechten voorbehouden.  
Niets uit deze uitgave mag worden  
vermenigvuldigd en/of openbaar  
gemaakt door middel van druk, foto-  
kopie, microfilm of op welke andere  
wijze dan ook, zonder voorafgaande  
toestemming van TNO.

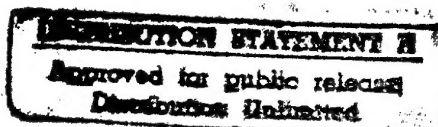
Indien dit rapport in opdracht werd  
uitgebracht, wordt voor de rechten en  
verplichtingen van opdrachtgever en  
opdrachtnemer verwezen naar de  
Algemene Voorwaarden voor Onder-  
zoeksopdrachten aan TNO, dan wel  
de betreffende terzake tussen de  
partijen gesloten overeenkomst.  
Het ter inzage geven van het  
TNO-rapport aan direct belang-  
hebbenden is toegestaan.

Exemplaar nr. : 10  
Oplage : 22  
Aantal pagina's : 22 (incl. bijlagen,  
excl. RDP & distributielijst)  
Aantal bijlagen : 3

© 1996 TNO

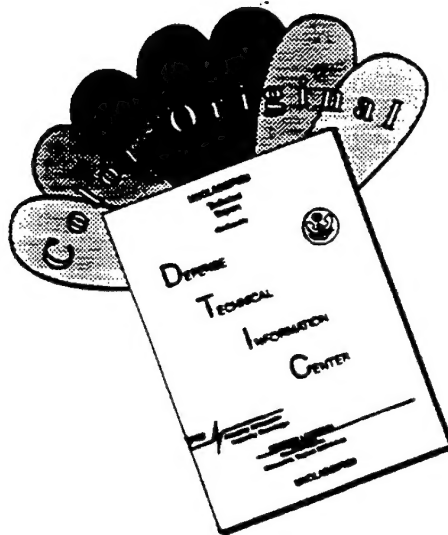
TNO Prins Maurits Laboratorium is onderdeel  
van de hoofdgroep TNO Defensieonderzoek  
waartoe verder behoren:

TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium  
TNO Technische Menskunde



Nederlandse Organisatie voor toegepast-  
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

# DISCLAIMER NOTICE



THIS DOCUMENT IS BEST QUALITY AVAILABLE. THE COPY FURNISHED TO DTIC CONTAINED A SIGNIFICANT NUMBER OF COLOR PAGES WHICH DO NOT REPRODUCE LEGIBLY ON BLACK AND WHITE MICROFICHE.

## Managementuittreksel

Titel : Bepaling van schadelijke componenten bij de controle van de  
luchtinlaat en -uitlaat van de motor van de F-16  
Auteur(s) : Ing. F.R. Groeneveld  
Datum : februari 1997  
Opdrachtnr. : A96KLu413  
Rapportnr. : PML 1996-A97

Bij de Koninklijke Luchtmacht wordt aan het einde van de dag na een laatste vlucht van de F-16 een 'Post flight'-controle uitgevoerd waarbij onder andere de rotorbladen in de luchtinlaat en -uitlaat van de motor worden geïnspecteerd. Deze inspectie wordt mede door de verhoogde temperatuur en de aanwezigheid van een brandstofvlucht in een enigszins onaangename atmosfeer uitgevoerd.

Om inzicht te krijgen in de aard en hoeveelheid van mogelijk schadelijke stoffen in de inlaat en uitlaat tijdens de inspectie, werd een onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid hiervan na een vlucht van de F-16. Dit onderzoek richtte zich op de meting van de volgende componenten: koolmonoxide (CO), kooldioxide (CO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), vluchtige organische koolwaterstoffen, aldehyden en stof en/of roetstof. Ook werd het temperatuurverloop van de lucht in de inlaat en uitlaat gemeten gedurende de afkoelingsperiode en de meetperiode.

Uit het onderzoek bleek dat het gehalte aan PAK's, gemeten in de uitlaat van de F-16, overeenkwam met de MAC-waarde (maximale aanvaarde concentratie) van 0,2 mg/m<sup>3</sup>. In de inlaat werden deze verbindingen niet of nauwelijks aangetroffen. De aangetroffen vluchtige organische verbindingen waren de alkanen C<sub>9</sub> tot en met C<sub>14</sub>. Deze verbindingen waren afkomstig uit de kerosine en wel van resten brandstof in het motorsysteem. Ze werden voornamelijk in de inlaat aangetroffen. De gemeten concentratie van nonaan (n-C<sub>9</sub>) lag aanzienlijk beneden de betreffende MAC-waarde. Van decaan (n-C<sub>10</sub>) en de hogere alkanen zijn geen MAC-waarden bekend.

De concentraties van de overige onderzochte verbindingen lagen, met uitzondering van kooldioxide, beneden de detectiegrens van de analysemethode. Deze waarden lagen ruim beneden de betreffende MAC-waarde.

Aan de hand van de gemeten concentraties moet gesteld worden dat door geen van de componenten gedurende een 15 minuten durende blootstelling de MAC-waarde voor een kortdurende blootstelling werd overschreden.

De hoogste temperatuur werd in de uitlaat gemeten en bedroeg 45 °C. Aan het einde van de meetperiode was de temperatuur gedaald tot circa 35 °C. De temperatuur van de inlaat verliep van 30 °C naar 25 °C.

In het kader van dit onderzoek werd in een later stadium een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de roetaanslag op de vloer van de shelter onder de uitlaat van de startmotor van de F-16.

De vraag bestond in hoeverre PAK's die in het roetneerslag aanwezig zijn, een risico voor de gezondheid van het personeel kan betekenen.

Op de plaats van de roetaanslag werden stofmonsters van de vloer genomen voor en na het starten van de startmotor. Daarnaast werd een monster genomen van het aanwezige stof op de vloer dat door luchtwervelingen in de atmosfeer kan komen. In het roetaanslag op de sheltervloer werden PAK's geanalyseerd die behoren tot de groep van minder vluchtige PAK's. De concentratie aan PAK's varieerde van 11,3 tot 12,5 gewicht % in shelter 515 en 2,5 tot 4,4 gewicht % in shelter 517. De roetaanslag zit zodanig vastgekoekt dat deze alleen met een staalborstel kan worden verwijderd. Het is niet te verwachten dat het roetaanslag door luchtwervelingen in de atmosfeer terecht zal komen.

In het veegstof van de vloer werd 4,7 gewicht % PAK's aangetoond. De stofconcentratie in de shelter bedraagt minder dan 0,5 mg/m<sup>3</sup>. Op basis van deze gegevens is het niet te verwachten dat de aanwezigheid van PAK's in het veegstof door opwervelen een risico zal geven.

## Samenvatting

Bij de Koninklijke Luchtmacht wordt aan het einde van de dag na een laatste vlucht van de F-16 een 'Post flight'-controle uitgevoerd waarbij onder andere de rotorbladen in de luchtinlaat en -uitlaat van de motor worden geïnspecteerd. Deze inspectie wordt mede door de verhoogde temperatuur en de aanwezigheid van een brandstofvlucht in een enigszins onaangename atmosfeer uitgevoerd.

Om inzicht te krijgen in de aard en hoeveelheid van mogelijk schadelijke stoffen in de inlaat en uitlaat tijdens de inspectie, werd een onderzoek uitgevoerd naar de aanwezigheid hiervan na een vlucht van de F-16. Dit onderzoek richtte zich op de meting van de volgende componenten: koolmonoxide (CO), kooldioxide (CO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), vluchtige organische koolwaterstoffen, aldehyden en stof en/of roetstof. Ook werd het temperatuurverloop van de lucht in de inlaat en uitlaat gemeten gedurende de afkoelingsperiode en de meetperiode.

Uit het onderzoek bleek dat het gehalte aan PAK's, gemeten in de uitlaat van de F-16, overeenkwam met de MAC-waarde (maximale aanvaarde concentratie) van 0,2 mg/m<sup>3</sup>. In de inlaat werden deze verbindingen niet of nauwelijks aangetroffen. De aangetroffen vluchtige organische verbindingen waren de alkanen C<sub>9</sub> tot en met C<sub>14</sub>. Deze verbindingen waren afkomstig uit de kerosine van resten brandstof in het motorsysteem. Ze werden voornamelijk in de inlaat aangetroffen. De gemeten concentratie van nonaan (n-C<sub>9</sub>) lag aanzienlijk beneden de betreffende MAC-waarde. Van decaan (n-C<sub>10</sub>) en de hogere alkanen zijn geen MAC-waarden bekend. De concentraties van de overige onderzochte verbindingen lagen, met uitzondering van kooldioxide, beneden de detectiegrens van de analysemethode. Deze waarden lagen ruim beneden de betreffende MAC-waarde. Aan de hand van de gemeten concentraties moet gesteld worden dat door geen van de componenten gedurende een 15 minuten durende blootstelling de MAC-waarde voor een kortdurende blootstelling werd overschreden.

In het kader van dit onderzoek werd in een later stadium een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de roetaanslag op de vloer van de shelter onder de uitlaat van de startmotor van de F-16.

Het starten van de startmotor gaat gepaard met een uitstoot van een roetwolk. De hieronder liggende vloer is vervuilt met een roetaanslag. De vraag bestaat in hoeveel PAK's die in het roetaanslag aanwezig zijn, een risico voor de gezondheid van het personeel kunnen betekenen.

Op de plaats van de roetaanslag werden stofmonsters van de vloer genomen voor en na het starten van de startmotor. Daarnaast werd een monster genomen van het aanwezige stof op de vloer dat door luchtwervelingen in de atmosfeer kan komen. In het roetaanslag op de shelervloer werden PAK's geanalyseerd die behoren tot de groep van minder vluchtige PAK's. De concentratie aan PAK's varieerde van 11,3 tot 12,5 gewicht % in shelter 515 en 2,5 tot 4,4 gewicht % in shelter 517. De roetaanslag zit zodanig vastgekoekt dat deze alleen met een staalborstel kan wor-

den verwijderd. Het is niet te verwachten dat het roetaanslag door luchtwervelingen in de atmosfeer terecht zal komen.

In het veegstof van de vloer werd 4,7 gewicht % PAK's aangetoond. De stofconcentratie in de shelter bedraagt minder dan 0,5 mg/m<sup>3</sup> tijdens het starten van de startmotor. Op basis van deze gegevens is het niet te verwachten dat de aanwezigheid van PAK's in het veegstof door opwervelen een risico zal geven.

## Inhoud

Managementuittreksel .....	2
Samenvatting .....	4
1 Inleiding .....	7
2 Experimenten .....	8
2.1 Verbrandingsgassen uitlaat en inlaat .....	8
2.2 PAK's in roetaanslag sheltervloer .....	10
2.3 Monstername en analyse.....	10
3 Arbeidshygiënische normen.....	14
4 Resultaten.....	15
4.1 Verbrandingsgassen uitlaat en inlaat .....	15
4.2 PAK's in roetaanslag sheltervloer .....	16
5 Conclusies .....	17
6 Referenties.....	18
7 Ondertekening .....	19
Bijlagen:	
A De concentraties van de diverse componenten gemeten in de inlaat en uitlaat van de F-16	
B Het temperatuurverloop in de inlaat en uitlaat van de F-16 tijdens de 'Post flight'-controle	
C PAK's in roetaanslag sheltervloer	

## 1 Inleiding

Bij de Koninklijke Luchtmacht wordt na een vlucht van de F-16 het toestel op mogelijke schade aan de buitenzijde gecontroleerd. Na de laatste vlucht van de F-16 op een dag worden daarbij eveneens de rotorbladen in de luchtinlaat en uitlaat geïnspecteerd. Deze inspectie kan zowel in de buitenlucht als in een shelter worden uitgevoerd. In de shelter is sprake van een ongunstiger situatie: de natuurlijke luchtverversing verloopt in de shelter langzamer dan in de buitenlucht. De uitlaat is direct na de vlucht zeer heet. Het onderhoudspersoneel inspecteert eerst de overige controlepunten alvorens in de inlaat en uitlaat te kruipen. Intussen kan de lucht daarin afkoelen. De inspectie duurt circa 2 minuten voor zowel de inlaat als de uitlaat. Het onderhoudspersoneel klaagt echter over een onaangename atmosfeer tijdens het inspecteren van de rotorbladen in de inlaat en uitlaat. Om inzicht te krijgen in de aard en hoeveelheid van mogelijk schadelijke stoffen in de lucht in de inlaat en uitlaat, werd op verzoek van de Directie Personeel Koninklijke Luchtmacht, Afdeling Bedrijfs - Luchtvaart Geneeskunde (DPKLu/ABLG) een onderzoek uitgevoerd. Het onderzoek richtte zich op de aanwezigheid van schadelijke gassen en dampen die na de landing van de F-16 in de inlaat en uitlaat aanwezig zijn.

Bij dit onderzoek werden metingen van de volgende componenten uitgevoerd: koolmonoxide (CO), kooldioxide (CO<sub>2</sub>), stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>), zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>), polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), vluchtige organische koolwaterstoffen, aldehyden en stof en/of roetstof. Daarnaast werd het temperatuurverloop van de lucht in de inlaat en uitlaat gemeten gedurende de afkoelingsperiode en de meetperiode.

De gemeten concentraties werden beoordeeld naar de in Nederland geldende normen voor de maximale aanvaarde concentratie (MAC-waarden).

In het kader van dit onderzoek werd in een later stadium een aanvullend onderzoek uitgevoerd naar de roetaanslag op de vloer van de shelter onder de uitlaat van de startmotor van de F-16.

Het starten van de startmotor gaat gepaard met een uitstoot van een roetwolk. De uitlaat staat schuin naar de bodem gericht. De hieronder liggende vloer is vervuild met een roetaanslag. De vraag bestaat in hoeverre PAK's die in het roetaanslag aanwezig zijn een risico voor de gezondheid van het personeel kunnen betekenen. Op de plaats van de roetaanslag werden stofmonsters van de vloer genomen voor en na het starten van de startmotor. Daarnaast werd een monster genomen van het aanwezige stof op de vloer dat door luchtwervelingen in de atmosfeer kan komen.



## 2 Experimenten

### 2.1 Verbrandingsgassen uitlaat en inlaat

Op 23 april 1996 werden op de vliegbasis Twente van de Koninklijke Luchtmacht luchtmetingen verricht in de inlaat en uitlaat van de motor van een F-16 (de J-261). Deze motor, van het type F100-PW-200, was een exemplaar van het 'oude model' waarin de verbranding minder optimaal verloopt dan in een motor van het nieuwere type.

Na een vlucht van circa een uur taxiede het toestel tot voor de shelter. De motor werd afgezet waarna het toestel in de shelter werd getrokken met behulp van een lier.

In de uitlaat werd een 2,5 m lange staaf geplaatst tot vlakbij de rotorbladen. Aan het einde van de staaf bevonden zich naast de temperatuursensoren ook drie aanzuigkoppelingen voor de diverse monsternamesystemen.

Bij de inlaat werden de drie aanzuigkoppelingen en de temperatuursensoren geplaatst op een verrijdbare opstelling die met een duwstok van 5 m tot aan de rotorbladen van de inlaat werden gebracht. In figuur 1 wordt van beide meetopstellingen een afbeelding getoond.

Direct na binnenkomst werd de luchttemperatuur in de inlaat en uitlaat bij de rotorbladen gemeten. De temperatuur van de lucht werd gedurende de gehele meetperiode om de minuut geregistreerd en geprint.

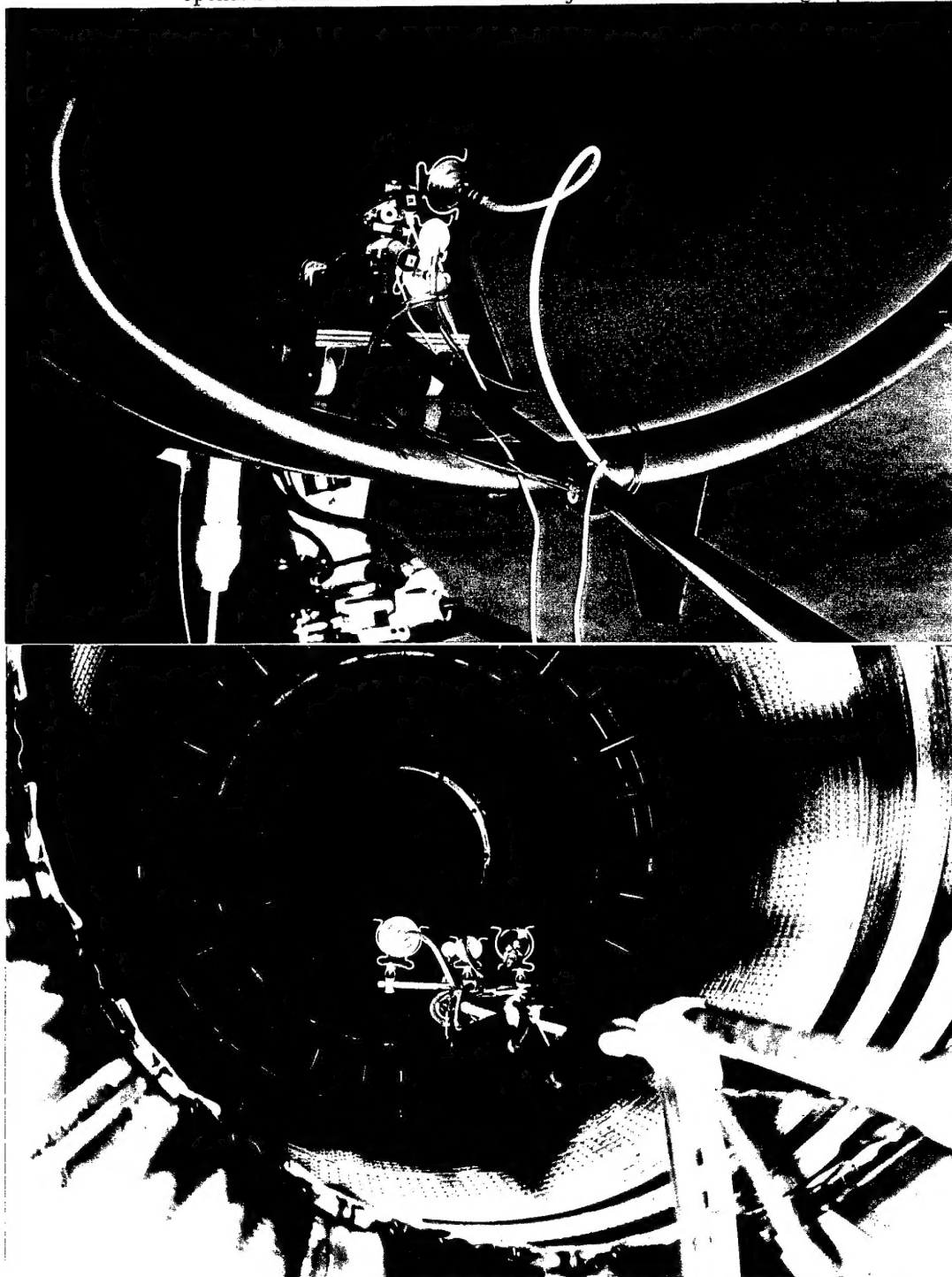
Op het teken van het onderhoudspersoneel dat met de inspectie van de rotorbladen van de inlaat en uitlaat zou kunnen worden begonnen, werden luchtmonsters van de atmosfeer in de inlaat en uitlaat genomen.

In de aanzuigkoppelingen waren filters geplaatst. De lucht werd aangezogen via de filters en door luchtslangen naar de diverse monsternemers geleid, waarna de verschillende componenten in de lucht werden afgevangen. De monstername duurde 15 minuten. Na de meting werd opnieuw een luchtmonster genomen van de inlaat en uitlaat, nu gedurende een half uur.

Tevens werd een luchtmonster genomen van de atmosfeer van de shelter. Deze meting diende als achtergrondwaarde.

Na de metingen van de inlaat en uitlaat werden extra luchtmonsters genomen tijdens het starten van de startmotor. De startmotor werd in de shelter gestart en liep gedurende 40 seconden; hierbij bleef de hoofdmotor buiten werking. De luchtmonsters werden genomen op de plaats waar tijdens het lopen van de startmotor het aanwezige personeel zich bevindt. Dit was aan de rechter voorzijde van de F-16 en wel aan de tegenoverliggende zijde van de plaats waar de emissie plaatsvond. Door de kracht van de uitstuwingsgassen werden deze door de shelter gestuwd. De monstername vond op ademhoogte plaats (circa 1,75 m).

Tijdens alle metingen was de deur aan de voorzijde van de shelter volledig geopend. De schuifdeuren aan de achterzijde waren voor de helft geopend.



*Figuur 1: De weergave van de positie van de monsternamekoppen en de temperatuursensoren in de inlaat en uitlaat van de F-16. De eerste foto betreft de inlaat; de tweede de uitlaat. Voor de foto werden de monsternamekoppen niet geheel tot het einde van de inlaat en uitlaat geplaatst.*

## 2.2 PAK's in roetaanslag shelervloer

Op 11 september 1996 werden in twee shelters nummer 515 en 517 stofmonsters genomen van de roetaanslag op de vloer schuin onder de uitlaat van de startmotor van de F-16.

In de beide shelters stond een F-16 die dezelfde morgen een vlucht zouden maken. Voor het vertrek van de F-16 en daarna werden monster genomen van het roetaanslag op de vloer.

De roetaanslag bestrijkt een oppervlak van circa 3 bij 4 m. In het midden van de vervuilde plaats is de roetaanslag het dikste, op deze plaats werden de monsters genomen.

Op de vloer kon geen veegmonster worden genomen. Het roet zat aan de vloer vastgekoekt. Met behulp van een ruwe borstel ging dit eveneens niet. Met behulp van een staalborstel werd het roetaanslag losgemaakt, waarna een monster van het roetstof kon worden genomen. In shelter 515 was de roetaanslag dikker dan in shelter 517.

In shelter 517 werd met behulp van een veger stof verzameld van de vloer aan de lange zijde achterin de shelter. Dit stof kan mogelijk door luchtwervelingen in de atmosfeer terecht komen.

In tabel 1 staan de gegevens ten aanzien van de stofmonsters vermeld. In de tabel staat tevens het vloeroppervlak gegeven waarvan het monster afkomstig is.

Tabel 1: Stofmonsters van de roetaanslag en vloerstof in de shelter nummer 515 en 517.

Meetplaats	Massa stofmonster (g)	Vloeroppervlak (m <sup>2</sup> )
515 - A	0,585	0,17
515 - B	0,400	0,07
517 - A	0,478	0,5
517 - B	0,282	0,06
517 - C	3,410	1,5

A : stofmonster vóór het starten van de startmotor;

B : stofmonster ná het starten van de startmotor;

C : veegstofmonster van de vloer.

De stofmonsters werden op het laboratorium onderzocht op de aanwezigheid van PAK's.

## 2.3 Monsternamen en analyse

### 2.3.1 Stof, stikstofoxiden, aldehyden en vluchtige organische verbindingen

De lucht met de te meten componenten werd bemonsterd met behulp van een bemonsteringsunit waarin de diverse componenten werden afgevangen.

De lucht werd met een debiet van 10 l/min aangezogen door een filter. Via een teflon luchtslang van 2,5 m lang voor de uitlaat en 5 m voor de inlaat werd de lucht in een monsternamebuis geleid. Vanuit de monsternamebuis werden stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ), aldehyden en vluchtige organische verbindingen bemonsterd. De bemonsteringsdebieten werden geregeld met behulp van een regelventiel in combinatie met een pomp (Becker vacuümpomp). Voor en na de monstername werd het debiet gecontroleerd met een debietmeter (Rota type L2.5/10, serienr. 6767 en Rota type L63/2400, serienr. 11350). Het bemonsterde volume werd bepaald uit het product van het debiet en de bemonsteringsduur.

### Stof

Op een glasvezelfilter (Sartorius SM13400-50-S) werd het stof in de bemonsterde lucht afgevangen. De massa afgevangen stof werd verkregen door vóór en na de monstername het filter te wegen. De stofconcentratie werd berekend als het quotiënt van de op het filter afgevangen hoeveelheid stof en de doorgezogen hoeveelheid lucht.

### Stikstofoxiden

Stikstofoxiden ( $\text{NO}_x$ ) werden bemonsterd door de lucht door een buisje gevuld met moleculaire zeef (SKC, 800 mg), dat met chroomzuur gecoat was, te leiden met een debiet van 0,5 l/min. Het bij de verbranding gevormde stikstofmonoxide ( $\text{NO}$ ) wordt hierbij omgezet in stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ ). Vervolgens werd de lucht door twee in serie geschakelde impingers, gevuld met 15 ml van een oplossing van 15 g triethanolamine en 0,5 ml butanol in 1 liter water, geleid. Hierin werd het uit  $\text{NO}$  gevormde  $\text{NO}_2$  en het al in de lucht aanwezige  $\text{NO}_2$  afgevangen. Na bemonstering werd het nitrietgehalte in deze oplossing spectrofotometrisch bepaald met behulp van de Griess-Salzmansmethode en omgerekend naar  $\text{NO}_2$  [1, 2]. De stikstofoxidenconcentratie werd berekend als quotiënt van de in de absorptievloeistof afgevangen hoeveelheid stikstofdioxide en de doorgezogen hoeveelheid lucht.

### Aldehyden

De concentraties van aldehyden werden bepaald door de lucht met een constant debiet van 0,5 l/min te leiden door twee in serie geschakelde impingers, gevuld met 15 ml van een zure oplossing van 2,4-dinitrofenylhydrazine in acetonitril. In deze absorptie-oplossing werden de aldehyden omgezet in hydrazonderivaten door reactie met het dinitrofenylhydrazine. Vervolgens werd dit mengsel geanalyseerd met behulp van hoge druk vloeistofchromatografie (HPLC), waarbij de hydrazonverbindingen werden gedetecteerd met een UV-detector en een Diode Array detector [3].

### Koolwaterstoffen

De vluchtige organische koolwaterstoffen werden afgevangen op een actief koolbuisje (SKC twee secties: 100 en 50 mg actieve kool). De lucht werd met een debiet van 1,0 l/min door het buisje gezogen. De twee koolsecties in de buis werden gescheiden en ieder geëxtraheerd in 1 ml zwavelkoolstof ( $\text{CS}_2$ ) [4]. Het extract

werd kwalitatief geanalyseerd met behulp van een gaschromatograaf (GC) voorzien van een vlamionisatiedetector (FID) en daarbij vergeleken met een kerosine-monster.

### 2.3.2 Vaste en gasvormige anorganische verbindingen

Met een tweede monstereenheid werd lucht met behulp van een constant-debiet pompje (DuPont P4Lc) met een debiet van 2 l/min via een filter door een siliconen luchtslang in een gaszak (polyethyleen; 20 liter) gebracht.

#### Anorganisch stof

Het stof werd afgevangen op een met Nucleopore-filter (Nucleopore, type polycarbonaat, poriëndiameter 0,8 µm, filterdiameter 25 mm), dat voorzien was van een 30 nm dikke goud-coating. De lucht werd met een debiet van 100 l/min gedurende 20 seconden aangezogen. Het filter werd geanalyseerd met behulp van rasterelektronenmicroscopie/röntgenmicro-analyse (REM/RMA).

#### Anorganische gasvormige verbindingen

De anorganische gasvormige verbindingen werden afgevangen in een gaszak. Vervolgens werd een monster genomen uit de gaszak met behulp van een vacuüm-gezogen roestvrijstalen gascilinder. Op het laboratorium werden koolmonoxide en kooldioxide in de lucht in de gascilinder geanalyseerd met behulp van een gaschromatograaf (GC) voorzien van een 'thermal conductivity detector' (TCD). Uit de gaszak werden tevens luchtmonsters genomen om met behulp van indicatiebuisjes te controleren op de aanwezigheid van diverse anorganische gasvormige verbindingen. De concentraties kunnen daarbij direct op de indicatiebuisjes worden afgelezen. In tabel 2 worden de gebruikte indicatiebuisjes vermeld.

Tabel 2: Overzicht van de gebruikte indicatiebuisjes.

Component	Indicatiebuis	Meetbereik (ppm)
Kooldioxide (CO <sub>2</sub> )	Dräger 100/a	100 - 3000
Koolmonoxide (CO)	Dräger 5/c	5 - 700
Koolmonoxide (CO)	Dräger 2/a	1 - 60
Stikstofoxiden (NO en NO <sub>2</sub> )	Dräger 0.5/a	0,5 - 10
Zwavedioxide (SO <sub>2</sub> )	Dräger 1/a	1 - 25

### 2.3.3 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK)

Met een derde monstereenheid werden de PAK bemonsterd met behulp van een teflon filter in combinatie met een XAD-adsorptiebuisje. De niet vluchtige PAK werden als stof afgevangen op een teflon filter (Millipore, type FHLPO4700, 0,5 µm poriëndiameter en 47 mm filterdiameter). De vluchtige PAK werd afgevangen op het XAD-adsorptiebuisje. De lucht werd met een debiet van 3 l/min door het filter gezogen. Het bepalen van de stofconcentratie werd herhaald zoals reeds eerder werd beschreven.

Op het laboratorium werden de filters en de XAD-adsorptiebuisjes geëxtraheerd in tolueen. Na indampen van het tolueen-extract tot bijna droog werd het residu

opgelost in 1 ml acetonitril. Het acetonitril-extract werd geanalyseerd met behulp van hoge druk vloeistofchromatografie (HPLC).

De analyse van de PAK op de filters en de XAD-adsorptiebuisjes werd uitgevoerd door TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP) in Delft.

#### **2.3.4 Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK) in roetaanslag sheltervloer**

Het losgemaakte roetstof werd met behulp van een blik en veger bijeen geveegd en overgebracht in een glazen monsterpotje. De extractie en analyse van het roetstof is gelijk aan de eerdergenoemde methode voor de filters en XAD-adsorptiebuisjes. De analyse van de PAK's in het roetstof werden uitgevoerd door TNO Milieu, Energie en Procesinnovatie (TNO-MEP) in Delft.

### 3      **Arbeidshygiënische normen**

In Nederland wordt bij het beoordelen van arbeidshygiënische situaties gebruik gemaakt van de Maximale Aanvaarde Concentratie (MAC), zoals gedefinieerd in de Nationale MAC-lijst [5].

De MAC-waarde geldt als een tijdgewogen gemiddelde (MAC-TGG) voor een achturige werkdag, dat wil zeggen bij een blootstelling tot 8 uur per dag en niet meer dan 40 uur per week gedurende een arbeidzaam leven. Bij overschrijding van deze blootstellingsduur dient een overeenkomstig verlaagde MAC-TGG te worden gehanteerd.

Tijdgewogen gemiddelden laten kortdurende overschrijdingen toe, vooropgesteld dat het tijdgewogen gemiddelde over de werkdag niet wordt overschreden. De hoogte van de toegestane overschrijding is voor slechts enkele stoffen vastgesteld als tijdgewogen gemiddelde over 15 minuten. Het voornemen bestaat om voor die stoffen waarvoor (nog) geen MAC-TGG 15 minuten is vastgesteld als richtsnoer een factor 2 te hanteren met betrekking tot de MAC-TGG voor een blootstelling tot 8 uur.

Bij vermelding van MAC-C (Ceiling) moet overschrijding van deze concentratie in alle gevallen worden voorkomen.

## 4 Resultaten

### 4.1 Verbrandingsgassen uitlaat en inlaat

In bijlage A worden de concentraties van de componenten vermeld zoals die bij de verschillende metingen zijn bepaald. Daarnaast worden in bijlage A, voor zover bekend, de bijbehorende MAC-waarden gegeven.

De concentratie aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) gemeten in de uitlaat van de F-16 komt overeen met de MAC-waarde van  $0,2 \text{ mg/m}^3$ . Tijdens de monsteropwerking voor de analyse van de PAK's, afgevangen gedurende het draaien van de startmotor, ontstond een gelei-achtige neerslag die niet verder geanalyseerd kon worden. De oorzaak hiervan is niet geheel duidelijk.

De belangrijkste PAK's die werden aangetoond waren naftaleen en acenaftheen. Daarnaast werden in veel lagere concentraties fluoreen, fenanthreen, fluorantheen en pyreen aangetoond. Voor naftaleen afzonderlijk geldt een MAC-waarde van  $50 \text{ mg/m}^3$ . Voor een kortdurende blootstelling, waar in dit geval sprake van is, wordt tweemaal de MAC-waarde gehanteerd.

Overigens dient vermeld te worden dat voor de bepaling van de PAK-concentratie slechts één monster uit de uitlaat beschikbaar was.

Bij de gaschromatografische bepaling van vluchtige organische koolwaterstoffen blijken de belangrijkste organische verbindingen de alkanen  $C_9$  tot en met  $C_{14}$  te zijn. Deze verbindingen kunnen worden toegeschreven aan de aanwezigheid van dampen van kerosine, afkomstig uit het motorsysteem, omdat de gaschromatografische bepaling van de kerosine hetzelfde patroon gaf. Heel duidelijk was dat in de inlaat een aanzienlijk hogere concentratie aan vluchtige organische koolwaterstoffen werd gemeten dan in de uitlaat.

Van nonaan ( $n-C_9$ ) wordt een MAC-waarde gegeven van  $1450 \text{ mg/m}^3$ . Van decaan ( $n-C_{10}$ ) en hogere alkanen zijn geen MAC-waarden bekend.

De concentratiemetingen van kooldioxide, koolmonoxide en stikstofdioxide berusten op twee verschillende monsternamen- en analysemethoden. De concentraties van koolmonoxide en stikstofdioxide lagen in beide gevallen beneden de detectiegrens van de analysemethode. De kooldioxide-concentratie laat een lichte verhoging zien, maar blijft verder ver beneden de MAC-waarde.

Voor de overige onderzochte verbindingen (zwaveldioxide en de aldehyden) geldt eveneens dat de concentraties beneden de detectiegrens van de analysemethode en tevens beneden de bijbehorende MAC-waarde bleven.

Op de filters kon gravimetrisch geen stof worden aangetoond. De concentratie aan stof is kleiner dan  $0,5 \text{ mg/m}^3$ . Wel werd op het filter, bemonsterd tijdens het draaien van de startmotor, visueel een verkleuring waargenomen. De tijdsduur van het draaien van de startmotor was te kort om in de shelter een meetbare stofconcentratie te emitteren.



In bijlage B wordt het temperatuurverloop gegeven van de lucht in de inlaat en uitlaat. De buitentemperatuur bedroeg 20 °C. In de figuur in bijlage B staat tevens vermeld op welk moment de luchtmetingen in de inlaat en uitlaat werden uitgevoerd. De hoogste temperatuur werd in de uitlaat gemeten en bedroeg 45 °C. Aan het einde van de meetperiode was de temperatuur gedaald tot circa 35 °C. In de figuur valt eveneens op dat na het herplaatsen van de meetsensoren in de uitlaat op een andere positie een verhoging in temperatuur werd waargenomen. De temperatuur van de inlaat verliep van 30 °C naar 25 °C. Naar verwachting zal de oppervlaktetemperatuur van het metaal van de uitlaat hoger zijn. Dit is in het onderzoek echter niet gemeten.

## 4.2 PAK's in roetaanslag shelervloer

In bijlage C worden in tabelvorm de resultaten vermeld van de geanalyseerde PAK's in het roetaanslag op de vloer van de shelter en in het veegstof.

In het roetaanslag werden PAK's geanalyseerd die behoren tot de groep van minder vluchtige PAK's. De concentratie aan PAK's variërend van 11,3 tot 12,5 gewicht % in shelter 515 en 2,5 tot 4,4 gewicht % in shelter 517.

Er kon geen verschil worden waargenomen in de PAK-samenstelling van het roetstof als gevolg van het starten van de startmotor.

De roetneerslag op de vloer onder de F-16 zit zodanig vastgekoekt dat deze alleen met een staalborstel kan worden verwijderd. Het is niet te verwachten dat het roetaanslag door luchtwervelingen in de atmosfeer terecht zal komen.

In het veegstof van de vloer werd 4,7 gewicht % PAK's aangetoond. Het is mogelijk dat door luchtwervelingen het stof in de atmosfeer terecht kan komen. De MAC-waarde van PAK's bedraagt 0,2 mg/m<sup>3</sup>. Uitgaande van een maximaal gemeten PAK-concentratie in het stof (12,5 gewicht %) zou een stofconcentratie van 1,6 mg/m<sup>3</sup> in de lucht van de shelter aanwezig moeten zijn. Uit de eerdere metingen werd in de shelter een stofconcentratie gemeten van minder dan 0,5 mg/m<sup>3</sup> gedurende 15 minuten tijdens draaien van de startmotor. De achtergrond stofconcentratie in de shelter bedroeg minder dan 0,1 mg/m<sup>3</sup>. Op basis van deze gegevens is het niet te verwachten dat de aanwezigheid van PAK's in het veegstof een risico zal geven.

Het aanvegen van de vloer met name langs de wanden van de shelter kan plaatselijk een verhoogde stofconcentratie geven. De hoogte van de concentratie zou aan de hand van persoonsgebonden metingen gedurende de werkzaamheden kunnen worden bepaald. In hoeverre dit soort werkzaamheden regelmatig voorkomen is niet bekend.

## 5 Conclusies

De concentratie aan polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's), gemeten in de uitlaat van de F-16, komt overeen met de MAC-waarde van 0,2 mg/m<sup>3</sup>. De belangrijkste PAK's die werden aangetoond waren naftaleen en acenafteen; deze zijn niet carcinogeen. In de inlaat werden niet of nauwelijks meer van deze componenten aangetroffen dan in het achtergrondmonster uit de shelter.

De belangrijkste vluchtige organische koolwaterstoffen die werden aangetroffen waren de alkanen C<sub>9</sub> tot en met C<sub>14</sub>. Deze verbindingen zijn afkomstig van de kerosine, uit resten brandstof in het motorsysteem. Ze werden voornamelijk in de inlaat aangetroffen.

De gemeten concentratie van nonaan (n-C<sub>9</sub>) lag aanzienlijk beneden de MAC-waarde daarvan. Van decaan (n-C<sub>10</sub>) en de hogere alkanen zijn geen MAC-waarden bekend.

De concentraties overige onderzochte verbindingen lagen, met uitzondering van kooldioxide, beneden de detectiegrens van de analysemethode. De waarden bleven daarmee beneden de MAC-waarde.

De temperatuur in de inlaat en uitlaat varieerde tussen de 45 en 35 °C respectievelijk 30 en 25 °C.

De werkatmosfeer in de uitlaat respectievelijk de inlaat zal door de verhoogde temperatuur en door de aanwezigheid van de geur van vluchtige organische verbindingen een verontrustend gevoel kunnen geven bij het onderhoudspersoneel. Aan de hand van de gemeten concentraties moet gesteld worden dat door geen van de componenten gedurende een 15 minuten durende blootstelling de MAC-waarde wordt overschreden.

In het roetaanslag op de sheltervloer werden PAK's geanalyseerd die behoren tot de groep van minder vluchtige PAK's. De concentraties aan PAK's varieerde van 11,3 tot 12,5 gewicht % in shelter 515 en 2,5 tot 4,4 gewicht % in shelter 517. De roetaanslag zit zodanig vastgekoekt dat deze alleen met een staalborstel kan worden verwijderd. Het is niet te verwachten dat het roetaanslag door luchtwervelingen in de atmosfeer terecht kan komen.

In het veegstof van de vloer werd 4,7 gewicht % PAK's aangetoond. De eerder gemeten stofconcentratie in de shelter bedroeg minder dan 0,5 mg/m<sup>3</sup> tijdens het starten van de startmotor. Op basis van deze gegevens is het niet te verwachten dat de aanwezigheid van PAK's in het veegstof door opwervelen een risico zal geven.

## 6 Referenties

- 1 Blacke, J.H.,  
'Triethanolamine for collecting nitrogen dioxide in the TLV range', Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 34 (1973) 390-395.
- 2 Willey, M.A.; McCammon, C.S. and Doemeny, L.,  
'A solid sorbent personal sampling method for the simultaneous collection of nitrogen dioxide and nitric oxide in air', Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 38 (1977) 358-363.
- 3 Lipari, F. and Swarin, S.J.,  
'Determination of formaldehyde and other aldehydes in automobile exhaust with an improved 2,4-dinitrophenylhydrazine method', J. Chromatogr. 247 (1981) 297-306.
- 4 National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH),  
'NIOSH Manual of Analytical Methods', 4th Ed., August 1994, Methods 5100 and 1501.
- 5 'De Nationale MAC-lijst 1995', Arbeidsinspectie, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, Den Haag.

## 7 Ondertekening

A handwritten signature in black ink, consisting of several vertical strokes and a long horizontal stroke at the bottom.

Drs. R. Eerligh  
Projectleider

A handwritten signature in black ink, featuring a large, oval-shaped loop at the beginning and a long horizontal stroke at the end.

Ing. F.R. Groeneveld  
Auteur

---

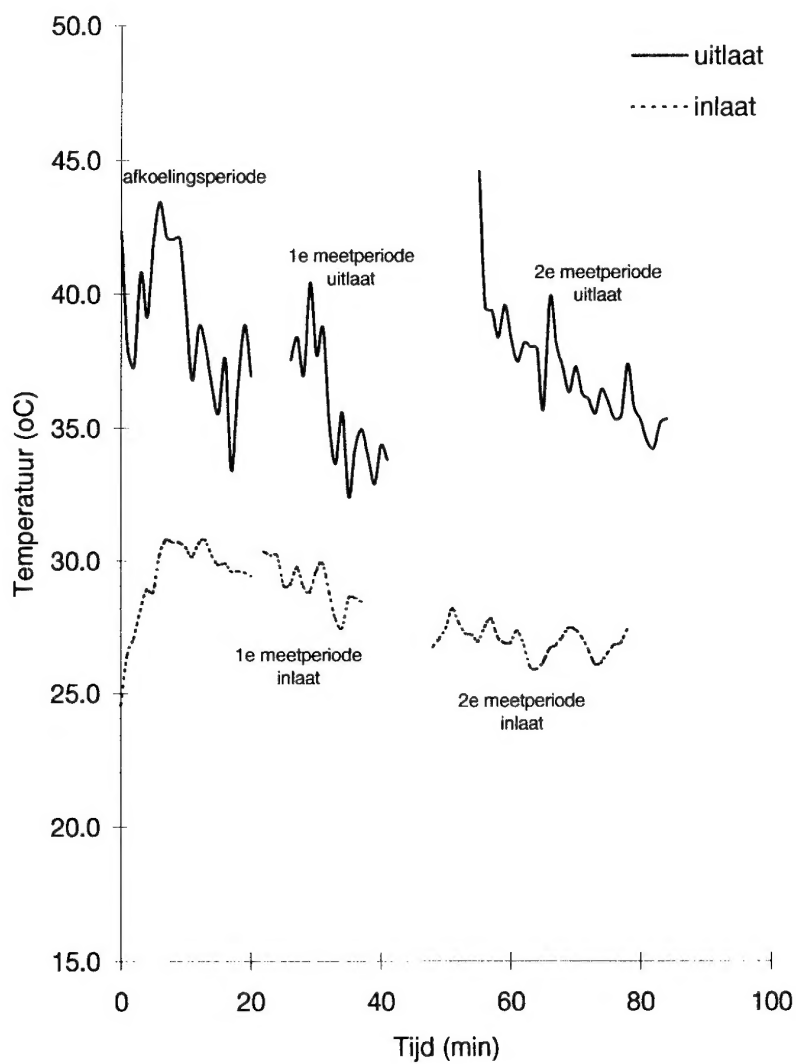
## Bijlage A      De concentraties van de diverse componenten gemeten in de inlaat en uitlaat van de F-16

Component	Eerste meting		Tweede meting		Achter- grond	Startmotor	MAC- waarde
	uitlaat	inlaat	uitlaat	inlaat			
alle waarden in mg/m <sup>3</sup>							
Bemonsteringsduur (min)	15	15	30	30	49	15	
Kooldioxide (CO <sub>2</sub> )	900	900	540	720	720	720	9000
Koolmonoxide (CO)	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	< 3	29
Zwavel dioxide (SO <sub>2</sub> )	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	5
Stikstofoxide (als NO <sub>2</sub> )	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	4
'Totaal' stof	< 0.5	< 0.5	< 0.2	< 0.2	< 0.1	< 0.5	10
Aldehyden:							
• formaldehyde	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	1.5
• aceetaldehyde	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	180
• acroleïne	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	< 0.1	0.25
• benzaldehyde	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	-
Polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's)	0.2	0.03	-	< 0.002	0.017	-	0.2
Vluchtige organische koolwaterstoffen (VOC)	0.4	103	-	5	0.2	0.3	-

< : Kleiner dan de detectiegrens van de analysemethode.

- : Geen meetwaarde door het mislukken van de monsternamming of analyse.

## Bijlage B      Het temperatuurverloop in de inlaat en uitlaat van de F-16 tijdens de 'Post flight'-controle



## Bijlage C      PAK's in roetaanslag sheltervloer

Component	515-A (ug/g)	515-B (ug/g)	517-A (ug/g)	517-B (ug/g)	517- C (ug/g)
Naftaleen	13.1	15.4	2.12	1.55	2.93
Acenaftyleen	< 3.7	< 5.6	< 4.6	< 7.8	< 6.5
Acenafteen	< 3.3	< 4.9	< 4.0	< 6.8	< 0.6
Fluoreen	< 1.5	< 2.2	< 1.8	< 3.1	< 0.7
Fenantreen	13.1	15.3	4.91	4.08	4.63
Antraceen	2.55	2.31	1.68	0.529	0.36
Fluoranteen	28.9	30.2	10.4	6.44	9.53
Pyreen	20.9	20.9	8.63	5.14	6.99
Benzo(a)antraceen	3.28	3.93	1.67	0.74	2.46
Chryseen	9.28	10.4	4.06	2.08	4.35
Benzo(b)fluoranteen	9.79	11.9	3.63	1.94	4.73
Benzo(k)fluoranteen	3.72	4.58	1.66	0.80	2.40
Benzo(a)pyreen	1.76	2.11	1.23	0.47	2.59
Dibenzo(ah)antraceen	0.35	0.35	< 0.17	< 0.37	0.45
Benzo(ghi)peryleen	3.05	3.81	1.86	0.77	2.87
Indeno(123cd)pyreen	3.22	4.12	1.75	0.68	2.56
Totaal PAK's	113.0	125.3	43.6	25.2	46.9

A : stofmonster vóór het starten van de startmotor;

B : stofmonster ná het starten van de startmotor;

C : veegstofmonster van de vloer.

ONGERUBRICEERD  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**  
(MOD-NL)

<b>1. DEFENCE REPORT NO. (MOD-NL)</b> TD96-0424	<b>2. RECIPIENT'S ACCESSION NO.</b>	<b>3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NO.</b> PML 1996-A97		
<b>4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO.</b> 214095718	<b>5. CONTRACT NO.</b> A96KLu413	<b>6. REPORT DATE</b> February 1997		
<b>7. NUMBER OF PAGES</b> 22 (incl. 3 annexes, excl. RDP & distribution list)	<b>8. NUMBER OF REFERENCES</b> 5	<b>9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED</b> Final		
<b>10. TITLE AND SUBTITLE</b> Bepaling van schadelijke componenten bij de controle van de luchtinlaat en -uitlaat van de motor van de F-16 (The determination of hazardous compounds during controlling of the air intake and exhaust of the engine of the F-16)				
<b>11. AUTHOR(S)</b> F.R. Groeneveld				
<b>12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES)</b> TNO Prins Maurits Laboratory, P.O. Box 45, 2280 AA Rijswijk, The Netherlands Lange Kleiweg 137, Rijswijk, The Netherlands				
<b>13. SPONSORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)</b> DPKLu/ABLG, P.O. Box 20703, 2500 ES The Hague				
<b>14. SUPPLEMENTARY NOTES</b> The classification designation Ongerubriceerd is equivalent to Unclassified.				
<b>15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS (1044 BYTE))</b> During a post flight control of the F-16 the atmosphere and the temperature of the air intake and exhaust were measured. The following compounds were determined : carbon monoxide, carbon dioxide, nitrogen oxides, sulphur dioxide, PAH, hydrocarbons, aldehydes and dust or soot dust. PAH were found in a concentration of the TWA-value (0.2 mg/m <sup>3</sup> ) in the atmosphere of the exhaust. In the air intake low concentrations of hydrocarbons were found. The other compounds were far below the TWA-value. The temperature in the exhaust decreased from 45 to 35 °C and in the air intake from 30 to 25 °C during a measuring period of an hour. PAH were also found in the soot dust impacted on the floor under the exhaust of the start engine. It is not expectable that the soot dust will whirl from the floor.				
<table style="width: 100%; border: none;"><tr><td style="width: 50%; vertical-align: top;"><b>16. DESCRIPTORS</b> Determination Hazardous materials Aircraft engines Engine inlets Exhaust systems</td><td style="width: 50%; vertical-align: top;"><b>DESCRIPTORS</b> Fighter aircraft Environmental hygiene</td></tr></table>			<b>16. DESCRIPTORS</b> Determination Hazardous materials Aircraft engines Engine inlets Exhaust systems	<b>DESCRIPTORS</b> Fighter aircraft Environmental hygiene
<b>16. DESCRIPTORS</b> Determination Hazardous materials Aircraft engines Engine inlets Exhaust systems	<b>DESCRIPTORS</b> Fighter aircraft Environmental hygiene			
<b>17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT)</b> Ongerubriceerd	<b>17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE)</b> Ongerubriceerd	<b>17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT)</b> Ongerubriceerd		
<b>18. DISTRIBUTION AVAILABILITY STATEMENT</b> Unlimited Distribution		<b>17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES)</b> Ongerubriceerd		



Distributielijst \*

- 1\*/2\* DWOO
- 3 DWOO
- 4\* HWO-KL
- 5 HWO-KLu
- 6\* HWO-KM
- 7 DPKLu, ABLG,  
Kol.-vliegerarts, W.C.M. Tielemans
- 8 Bureau TNO-DO
- 9/11 Bibliotheek KMA
- 12\* Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. dr. F.N. Hooge
- 13\* Lid Instituuts Advies Raad PML  
Prof. dr. U.A. Th. Brinkman
- 14 TNO-PML, Directeur; daarna reserve
- 15 TNO-PML, Directeur Programma; daarna reserve
- 16 TNO-PML, Hoofd Divisie Toxische Stoffen  
Dr. ir. J. Medema
- 17/20 TNO-PML Divisie Toxische Stoffen  
Dr. ir. M.S. Nieuwenhuizen, Drs. N.H.A. van Ham, Drs. R. Eerligh en  
Ing. F.R. Groeneveld
- 21 TNO-PML, Documentatie
- 22 TNO-PML, Archief

---

\* De met een asterisk (\*) gemerkte instanties/personen ontvangen uitsluitend de titelpagina, het managementuittreksel, de documentatiepagina en de distributielijst van het rapport.